

B.75

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
СО АН СССР

П.В.Воробьёв

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
КВАЗАРОВ

ПРЕПРИНТ 81 - 138

БИБЛИОТЕКА
Института ядерной
Физики СО АН СССР
КНБ. 19



Новосибирск

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
КВАЗАРОВ

П. В. Воробьев

Институт ядерной физики, Новосибирск

АННОТАЦИЯ

Приведены результаты анализа распределения квазаров (QSO) в пространстве различных космологических моделей методами спектрального и корреляционного анализа. В фурье-разложении распределения QSO по сопутствующей радиальной координате пространства Фридмана с $q = 1/2$ обнаружено возмущение с периодом $L = 560$ Мпс. Вероятность обнаружить такое возмущение при случайном распределении $P \sim 10^{-6}$. В трехмерном фурье-разложении распределения QSO по плоским волнам обнаружен пик, соответствующий возмущению с $L = 510$ Мпс., $P \sim 5 \cdot 10^{-3}$. Волновой вектор возмущения направлен приблизительно в сторону минимума квадрупольной моды реликтового излучения.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КВАЗАРОВ

П. В. Воробьев.

Известно, что распределение квазаров (QSO) по величине красного смещения z неоднородно и, по-видимому, неслучайно (*Burbidge, O'Dell* 1972, *Bell, Fort* 1973, *Ходазих* 1979). Интересно выяснить, как выглядит распределение квазаров не по z , а в естественных (сопутствующих) координатах некоторых космологических моделей. В этой работе приведены результаты анализа распределения квазаров каталога *Burbidge et al.* (1977) в пространстве космологических моделей Фридмана, деСиттера, Милна. Далее под пространством всюду подразумевается пространственноподобная гиперповерхность постоянного собственного (космического) времени. Использовались статистические методы Фурье-анализа и корреляционный анализ. Природа красного смещения квазаров предполагалась целиком космологической. Работа была инициирована обсуждением результатов *Burbidge, O'Dell* (1972) об особенностях распределения квазаров по красному смещению Зельдовичем и Новиковым (1975) и работами: Соколов, Шварцман (1974) и Соколов, Старобинский (1975), обсуждавшими возможную нетривиальность топологии пространства и ее наблюдательные проявления.

Для анализа пространственного распределения QSO используем спектральный метод. Распределение QSO представим в виде:

$$\rho(R) = \sum_{i=1}^N \delta(R - R_i)$$

здесь R_i - радиальная координата i -го квазара, N - число квазаров. В модели Фридмана с $q = -1/2$ $-R = 2c/H(1 - 1/\sqrt{1+z})$ в модели де Ситтера $-R = cz/H$, в модели Милна $-R = c/H \ln(1+z)$ здесь: $H = 75$ км/сек/Мпс - постоянная Хаббла, c - скорость света.

Для Фурье амплитуд имеем:

$$A(k) = \int \rho(r) \exp(2\pi i k r) dr = \sum_{i=1}^N \exp(2\pi i k r_i)$$

здесь $r = R/R_0$, R_0 - единица масштаба.

В дальнейшем будем использовать тот факт, что при случайном распределении QSO для спектральной мощности \mathcal{S} имеется соотношение:

$$\mathcal{S}(k) = |A(k)|^2 / N = \chi^2_2 / 2$$

здесь χ^2 распределение χ^2 с двумя степенями свободы.
Вероятность обнаружить $S > S_0$ в выборке из n независимых мод:

$$P_n(S > S_0) = 1 - (1 - \exp(-S_0))^n \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 1 - \exp(-n \cdot \exp(-S_0))$$

Подробности в работе *Burbidge, O'Dell* (1972), *Yu, Pavlov* (1969)

Фурье-спектр распределения QSO каталога *Burbidge et al.* (1977) по R в пространстве плоской модели Фридмана приведен на кривой S_R рисунка 1. Обращает на себя внимание мощный пик $S = 17.2$, соответствующий возмущению с длиной волны $L = 560$ Мпс и фазой $\psi = 0$. То есть возмущение можно представить в виде:

$$\delta p/p \approx 0.4 \cos(2\pi k_0 R/R_0); R_0 = 10^4 \text{ Мпс}, k_0 = 18$$

Вероятность появления такого пика в спектре случайно распределенных источников, содержащим 100 независимых мод, $P_{100} = 3 \cdot 10^{-6}$ (пунктиром изображена зависимость $S = N/k^2$, с которой хорошо согласуется вид спектра распределения квазаров "в целом").

Анализ распределения квазаров по z (*Burbidge, O'Dell* 1972) соответствует анализу по R в пространстве модели де Ситтера.

Анализ по $\ln(1+z)$ Ходячих (1979) соответствует анализу по R в пространстве модели Милна.

Анализ распределения QSO в этих моделях был повторен для квазаров каталога *Burbidge, O'Dell* (1977). В модели де Ситтера не обнаружено никакого статистически достоверного пика ($S < 7$). В модели Милна был найден пик с параметрами $S = 12.5, L = 820$ Мпс., $\psi = 2.39$, заметно меньший, чем в модели Фридмана.

Анализ амплитуды пика в зависимости от параметра замедления в стандартной модели Фридмана с $P = \Lambda = 0$ показал, что S имеет максимум вблизи $q = 1/2$, при этом $L \approx 550$ Мпс., $\psi = 0$, рис. 2. По-видимому, периодичность наиболее ярко проявляется в простейшей модели Фридмана с параметром заземления $q = 1/2$.

В модели Фридмана с плоским пространством ($q = 1/2$) было проведено разложение распределения QSO по плоским волнам. Такой трехмерный анализ был проведен для всех независимых мод с длиной волны от 10^4 до $2 \cdot 10^5$ Мпс., что соответствует $\sim 2 \cdot 10^5$ независимых мод. Анализ более высоких пространственных гармоник, по-видимому, не имеет смысла из-за возможных собственных движений и ошибок в определении координат. В результате был обнаружен единственный статистически значимый пик. Спектральная мощность пика $S = 17.25, L = 510$ Мпс., $\psi \approx 1.1$. Координаты

точки пересечения волнового вектора с небесной сферой $\alpha = 6 \text{ h } 50'$, $\delta = 6^\circ, \Delta \alpha = \Delta \delta = 20^\circ$ (ширина по уровню половинной мощности). Спектр распределения квазаров вдоль этого направления приведен на рис 1, кривая S_x .

Вероятность обнаружения такого пика при случайном распределении $P \sim 10^{-8}$. Вероятность для $2 \cdot 10^5$ независимых мод $P \sim 5 \cdot 10^{-3}$. Область вблизи начала координат пространства волновых чисел, содержащая моды с длиной волны более $2 \cdot 10^3$ Мпс игнорировалась т.к. она содержит информацию о глобальном распределении QSO. Распределение спектральной мощности остальных пиков согласуется с представлением о их случайном происхождении. Хвост дифференциального распределения числа мод в зависимости от S : $n(S) = N(S) - N(S+1)$ приведен на рисунке 3. Сплошная кривая - зависимость, ожидаемая для случайного распределения.

Интересно отметить, что параметры возмущения удивительно близки к соответствующим параметрам, которые были получены при фурье-анализе распределения квазаров этого же каталога по радиальной координате R : $S_R = 17.2, L_R = 560$ Мпс. Убедительного механизма объясняющего такую связь найти пока не удалось. Это свойство, как и длина волны возмущения нечувствительны к объему выборки QSO. Так, для 220 QSO каталога приведенного в книге *Russ et al.* (1977) и несколько расширенного, мощность пика при разложении по плоским волнам $S = 12.2$, при разложении по R $S = 12.6$, длина волны возмущения $L = 550$ Мпс. Направления волнового вектора возмущения для этих каталогов совпадает с точностью до 10° и близко к плоскости Галактики.

Был проведен корреляционный анализ распределения относительных расстояний QSO: как 3-мерный, так и одномерный (по R и в направлении волнового вектора возмущения, найденного при разложении по плоским волнам). В корреляционной функции имеется периодическая компонента, связанная с периодическим возмущением плотности и соответствующая пику в фурье-спектре. То есть корреляционная функция представима в виде:

$$B(d) = N + 2 \cdot \sum_{k=1}^{\infty} S(k) \cos(2\pi k d) \sim N + 2 \sum_{k=1}^{\infty} S(k) \cos(2\pi k d) + 2 S(k) \cos(2\pi k d)$$

$$d = (R_1 - R_2)/R_0, R_0 = 10^4 \text{ Мпс.}, k_0 = 20$$

Других особенностей в корреляционной функции нет.

Реальность пика в спектре распределения по R не вызывает сомнения. Все неровности в распределении источников по небесной сфере проинтегрированы и, поэтому не могут оказать существенного влияния. Механизм, объясняющий особенности распределения Q_{80} вхождением ярких спектральных линий излучения в диапазон наблюдения Карицкая, Комберг (1970), *Вави* (1978) не объясняет наблюдаемой периодичности в распределении квазаров. Распределение яркости источников в зависимости от R , порожденное движением серии ярких спектральных линий через полосу пропускания фильтра коррелировано с распределением Q_{80} почти в такой же степени (коэффициент корреляции $r \approx 0.5$), как и фурье-гармоника с периодом $L = 560 \text{ Мпс}$ ($r \approx 0.4$). Однако, они не коррелированы между собой ($r < 0.05$). Следует также отметить, что полуширина спектрального окна, приведенная к соответствующим z , всегда превосходит период возмущения. Это говорит о том, что сдвиг ярких линий в окно наблюдений объясняет другие (большого масштаба) особенности в распределении Q_{80} . И уж совсем невозможно таким образом объяснить пик в разложении по плоским волнам.

Нужно отметить, что волновой вектор возмущения пересекает небесную сферу примерно в том же направлении $\alpha = 6^{\text{h}}50' \pm 40'$, где находится минимум квадрупольной составляющей распределения реликтового излучения $\alpha = 5^{\text{h}}24' \pm 40'$ *Faltri et al.* (1980). Возможно, направление волнового вектора близко к направлению в минимум квадрупольной моды по обеим координатам.

Анализ пространственного распределения Q_{80} , по-видимому, позволяет утверждать, что нет каких либо указаний на отклонение топологии пространства от евклидовой (R^3) в масштабе до $\sim 2 \cdot 10^3 \text{ Мпс}$. В то же время можно предполагать, что периодичность в распределении Q_{80} несет информацию о спектре возмущений плотности в масштабе сотен мегапарсек, и, возможно, о геометрии пространства-времени. Допустим, периодичность в распределении Q_{80} по R могла бы быть проявлением осциллирующего масштабного фактора, возникающих при учете поляризации вакуума Гурович, Старобинский (1979), Воробьев (1980).

Выражаю искреннюю признательность Б.В. Чирикову и Д.Д. Соколову за внимание к работе и многочисленные обсуждения.

Л и т е р а т у р а

- Вави* Д. 1978, *Nature*, 273, 130.
Bell M.B., *Fort* D.N. 1973, *Ap. J.*, 186, 1.
Burbidge G.R., *O'Dell* S.L. 1972, *Ap. J.*, 178, 583.
Burbidge G.R., *Growne* A.H., *Smith* H.E., 1977, *Ap. J. Suppl. Ser.* 33, 113.
Воробьев П.В. 1980, Препринт ИЯФ 80-62 Новосибирск.
Гурович В.Ц., Старобинский А.А. 1979, *ЖЭТФ*, 77, 1683.
Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. 1975. "Строение и эволюция Вселенной", наука, М.
Карицкая Е.А., Комберг Б.В., 1970, *Астрон. Ж.* 47, 43.
Соколов Д.Д., Шварцман В.Ф., 1974, *ЖЭТФ*, 66, 412.
Соколов Д.Д.; Старобинский А.А., 1975, *Астрон. Ж.*, 52, 1041
Рисс М., Руффини Р., Уилер Д.Ж., 1977, Черные дыры, гравитационные волны и космология, "Мир", М.
Yu J.T., *Peebles* P.J.E. 1969, *Ap. J.*, 158, 103.
Faltri R., *Guidi* I., *Melchiorri* F., *Natale* V. 1980, *Phys. Rev. Lett.*, 44, 1563.
Ходячих М.Ф., 1979, *Астрон. Ж.*, 56, 732

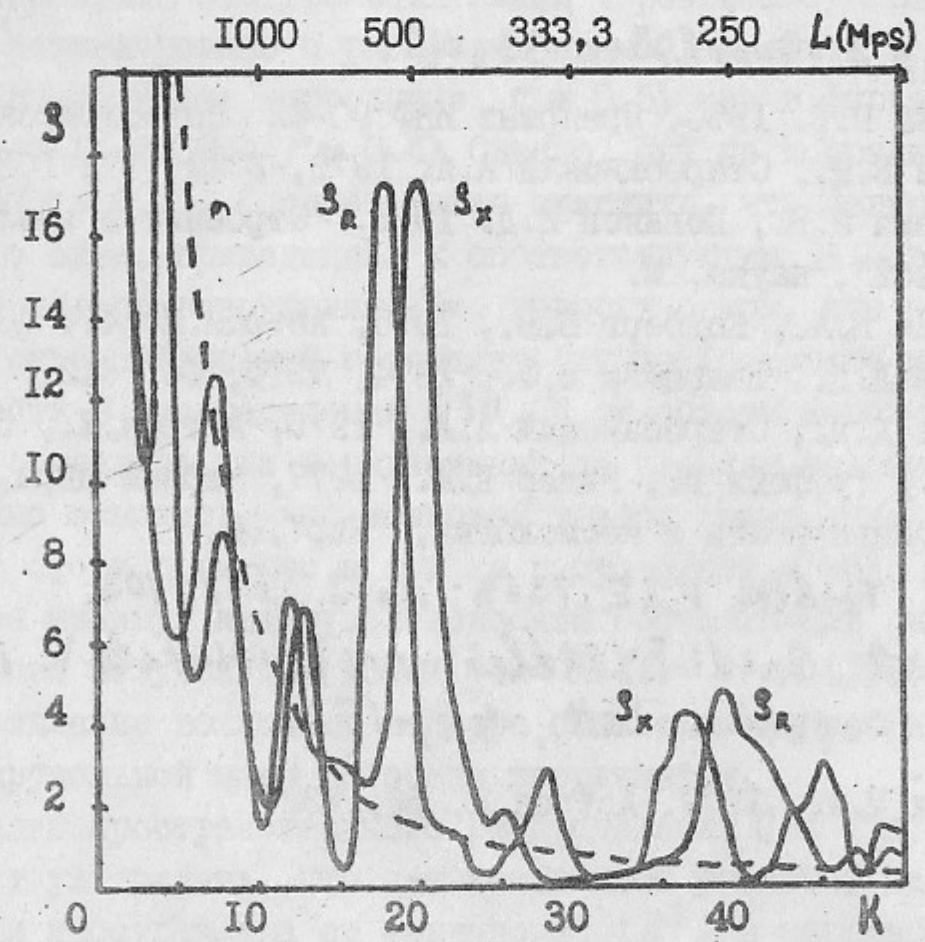


Рис.1

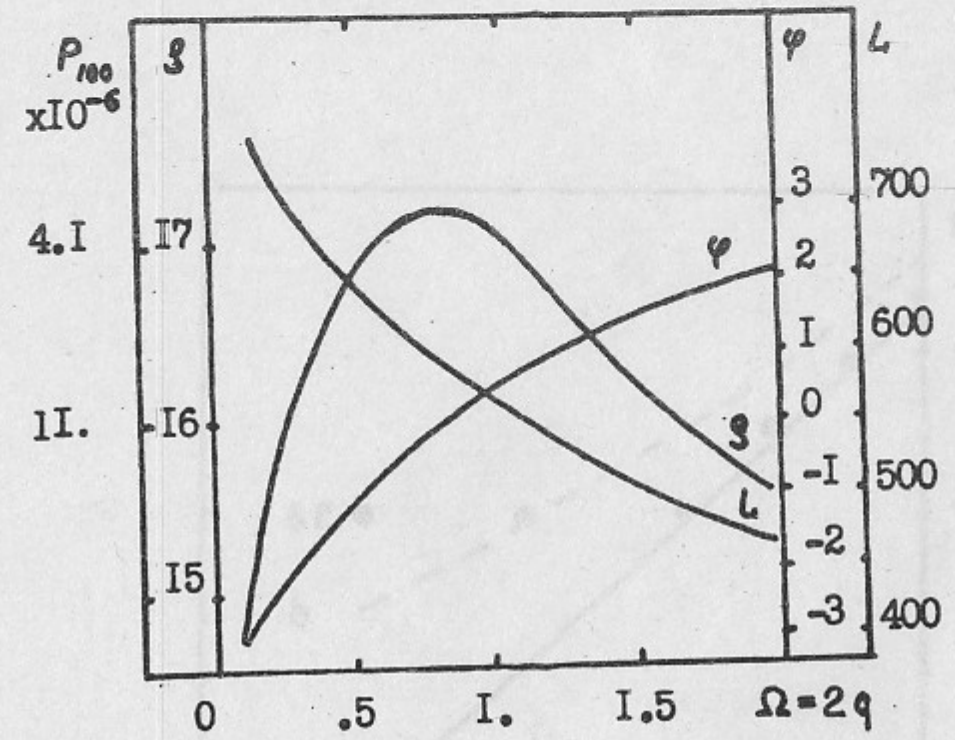


Рис.2

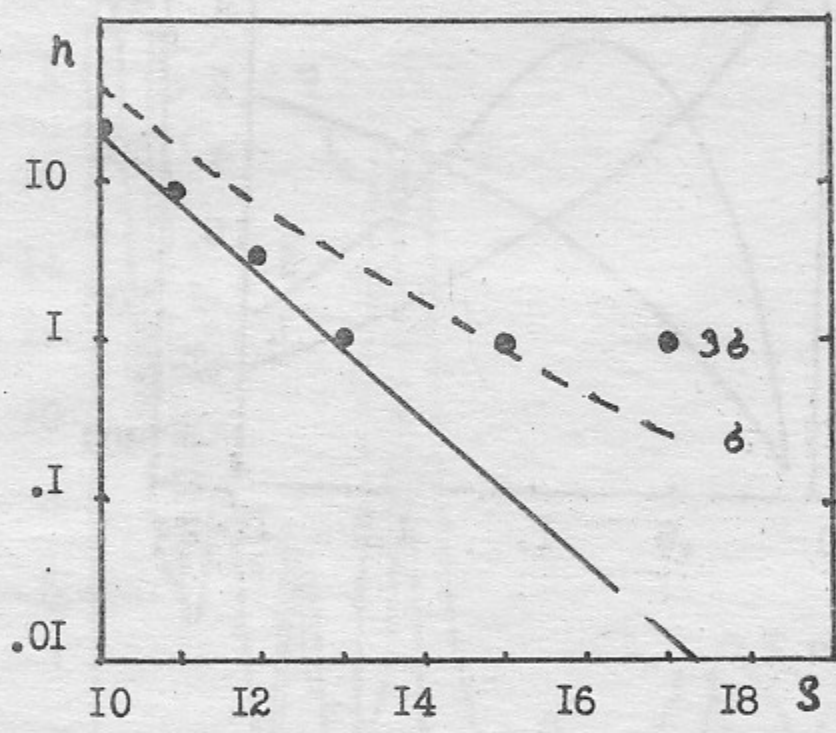


Рис. 3

Работа поступила - 6 августа 1981 г.

Ответственный за выпуск - С.Г.Попов

Подписано к печати 18.XII-1981г. МН 03520

Усл. 0,5 печат., 0,4 учетно-изд.л.

Тираж 290 экз. Бесплатно

Заказ № 138.

Отпечатано на роталпринте ИЯФ СО АН СССР