

ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ КВАЗАРІВ У КОСМОЛОГІЧНИХ МОДЕЛЯХ

Ю. Чорній

*Львівський національний університет імені Івана Франка, фізичний факультет
вул. Кирила і Мефодія, 8, Львів, 79005, Україна
(Отримано 16 серпня 2002 р.)*

Проаналізовано дані спостережень просторового розподілу квазарів із великими червоними зміщеннями z . Показано, що припущення про такі квазари як ранню короткочасну стадію розвитку масивних галактик може узгоджуватись лише з одночасним зменшенням концентрації квазарів $n_q(z)$ і ростом амплітуди їхньої кореляційної функції $\xi_{qq}(r, z)$ у більш ранні космологічні епохи. Можливе зменшення амплітуди $\xi_{qq}(r, z)$ з ростом z вказуватиме на несумісність такої гіпотези про квазари з космологічними моделями формування великомасштабної структури Всесвіту з гауссівського поля флюктуацій густини речовини.

Ключові слова: космологія, великомасштабна структура Всесвіту, квазари.

PACS number(s): 98.54.Aj

I. ВСТУП

Як відомо, серед космологічних об'єктів — елементів великомасштабної структури Всесвіту — квазари привертають особливу увагу. Зокрема квазари з великими червоними зміщеннями z є єдиним спостережуваним класом об'єктів, просторовий розподіл яких містить інформацію про стан і динаміку великомасштабної структури в ранні космологічні епохи після рекомбінації. Параметрами такого розподілу є середня концентрація квазарів $n_q(t)$ і їхня просторова двочотова кореляційна функція $\xi_{qq}(r, t)$ (r — супутня до космологічного розширення відстань, t — космологічний час).

Дані спостережень однозначно вказують на те, що залежність $n_q(t)$ має максимум при певному значенні t , якому відповідає $z \approx 2$ [1,2]. Стосовно $\xi_{qq}(r, t)$ і її еволюції в часі висновки різних авторів (див., наприклад, [3–10]) є суперечливими: в [3–7] знайдено, що $\xi_{qq}(r, t)$ зі зменшенням t зменшується, у [8] еволюції $\xi_{qq}(r, t)$ не виявлено, у сучасніших результатах [9] показано, що $\xi_{qq}(r, t)$ зі зменшенням t росте, проте наступні дослідження [10] знову вказують на зменшення $\xi_{qq}(r, t)$ зі зменшенням t .

Теоретична інтерпретація цих даних — це комплексна задача, компонентами якої є фізичні моделі квазарів і космологічні моделі утворення великомасштабної структури Всесвіту. Фізичні моделі квазарів ґрунтуються на всій сукупності сучасних даних спостережень. Згідно із цими моделями (див., наприклад, [11–16]) квазари є наслідком дискової акреції речовини на чорні діри масою $M_{\text{bh}} \sim 10^{8 \pm 9} M_{\odot}$ в ядрах масивних ($M_g \sim 10^{11} M_{\odot}$) галактик. Тому квазар розглядають як короткочасну стадію еволюції такої галактики, що може початись майже відразу після утворення галактики з протогалактичної флюктуації густини речовини. Статистика таких галактик залежить від параметрів космологічних моделей, у яких усі елементи великомасштабної структури утворюються внаслідок гравітаційної нестійкості нормально

розподілених флюктуацій густини речовини відповідного масштабу та маси [17].

Загалом така комплексна задача сьогодні є в стадії розробки. Це зумовлено значними невизначеностями в частині спостережень, а також великою кількістю феноменологічних припущень про параметри фізичних моделей квазарів і космологічних моделей (див., наприклад [18–23]). Через те залишається актуальним якісний аналіз вихідних гіпотез про фізичну природу квазарів, умови їх формування в різні моменти космологічного часу й узгодженість цих гіпотез із наявними космологічними теоріями та відповідними даними спостережень. Основою такого аналізу є вдале застосування додаткових обмежень, які дозволяють суттєво спростувати цю задачу, не втрачаючи при цьому важливості результатів її розв'язку.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Одним із таких ефективних обмежень є розгляд задачі про просторовий розподіл квазарів тільки з великими z , тобто квазарів у ранні космологічні епохи. Такі квазари виникли при утворенні масивних галактик унаслідок гравітаційної нестійкості протогалактичних флюктуацій густини речовини. Утворення ранніх галактик передбачає, що флюктуації, з яких вони утворилися, мали високу відносну амплітуду $\delta = (\rho(r, t) - \bar{\rho}(t))/\bar{\rho}(t)$ (де $\rho(r, t)$ — розподіл густини речовини в ділянці флюктуації, $\bar{\rho}(t)$ — середня густина речовини у Всесвіті в момент космологічного часу t). У цьому випадку динаміка їхньої нестійкості добре описується аналітичними методами в наближеннях однорідності і сферичної симетрії (див., наприклад, [24,25]). Висока амплітуда δ також означає, що коли $\delta = \sigma(M) \cdot \nu$ (де $\sigma(M)$ — середньоквадратична амплітуда всіх флюктуацій галактичного масштабу, ν — висота), то $\nu \gg 1$, тобто ранні квазари утворилися із тих флюктуацій галактичного масштабу, амплітуда яких значно більша за серед-

нюкватратичну. Внаслідок цього при застосуванні феноменологічного формалізму Преса–Шехтера [17] для розрахунку концентрації квазарів з великими z можна вважати, що діапазон мас відповідних протогалактичних флюктуацій густини вузький, отже — придатною є формула Преса–Шехтера в диференціальній формі. Також ми обмежимося “плоскою” космологічною моделлю з $\Lambda = 0$.

Далі в цій статті показано, що в асимптотиці великих z припущення про квазари як ранню стадію розвитку масивних галактик може узгоджуватись лише з одночасним зменшенням $n_q(t)$ і ростом амплітуди $\xi_{qq}(r, t)$ з ростом z .

III. МЕТОД РОЗВ'ЯЗКУ

Для того щоб упевнитись, чи справді зменшення $n_q(t)$ зі зменшенням t (далі в тексті — зменшення $n_q(z)$ із відповідним збільшенням z) і одночасний ріст амплітуди $\xi_{qq}(r, t)$ (далі — відповідно $\xi_{qq}(r, z)$) не суперечать гіпотезі про утворення квазарів унаслідок гравітаційної нестійкості флюктуацій галактичного масштабу і маси ($M_g \sim 10^{11} M_\odot$), використаємо формалізм Преса–Шехтера, модифікувавши його для розрахунку $n_q(z)$ при великих z у межах “плоскої” космологічної моделі з $\Lambda = 0$.

Як і при виведенні формули Преса–Шехтера [17], виходимо з того, що амплітуди флюктуацій густини — випадкові величини, розподілені за нормальним законом: $p(\delta, M) = (1/\sqrt{2\pi}\sigma(M)) \exp(-\delta^2/(2\sigma^2))d\delta$. Імовірність того, що випадкова величина δ попадає в заданий інтервал від $\delta_1(z)$ до $\delta_2(z)$, є: $F(M, z) = \int_{\delta_2(z)}^{\delta_1(z)} p(\delta, M)d\delta$, а функція розподілу за масами має вигляд: $f(M, z)dM = -\frac{\partial F(M, z)}{\partial M}dM$. Концентрація квазарів із червоним зміщенням z визначається так:

$$n_q(z) = \int_M \frac{f(M, z)}{V(M)}dM, \quad (1)$$

де $V(M)$ — супутній об'єм однорідної сферичної флюктуації з масою M і густиною ρ_0 в сучасний момент космологічного часу t_0 .

IV. РЕЗУЛЬТАТИ

Урахування короткочасності квазарної стадії (докладніше див. [18–23]), асимптотики великих черво-

них зміщень та інших припущень (див. постановку задачі) дозволяють остаточно знайти, що шукана залежність $n_q(z)$ є такою:

$$n_q(z) = A(M) \cdot (1+z)^{4.5} \cdot \exp(-\nu(z)^2/2), \quad (2)$$

де $\nu(z) = \delta_c(1+z)/\sigma(M)$ — висота, $A(M)$ — величина, незалежна від z .

Розглянувши умову: $\partial n_q(z)/\partial z < 0$, яка описує спостережуване зменшення концентрації квазарів при великих z , знайдемо, що вона виконується, якщо $\nu(z) > 2.35$.

Аналогічне дослідження еволюції амплітуди $\xi_{qq}(r, z)$, яке ми провели в [23], показало, що її зростання зі збільшенням z , визначене з умови $\partial \xi_{qq}(r, z)/\partial z > 0$, відбуватиметься, якщо $\nu(z) > 1.3$.

Порівнюючи знайдені обмеження на висоту флюктуацій $\nu(z)$, які при великих z визначають зменшення $n_q(z) - \nu(z) > 2.35$ і збільшення амплітуди $\xi_{qq}(r, z)$ з ростом $z - \nu(z) > 1.3$, бачимо, що їх забезпечує умова $\nu(z) > 2.35$. Таким чином, зменшення концентрації квазарів $n_q(z)$ з ростом z є сильнішою умовою, яка вимагає відповідного збільшення амплітуди $\xi_{qq}(r, z)$. Це важливий результат і з огляду на те, що дані спостережень залежності $n_q(z)$ є надійнішими порівняно з даними з еволюції $\xi_{qq}(r, z)$.

V. ВИСНОВОК

Отримані результати показують, що в асимптотиці великих z припущення про квазари як ранню стадію розвитку масивних галактик може узгоджуватись лише з одночасним зменшенням концентрації квазарів $n_q(z)$ і ростом амплітуди їхньої кореляційної функції $\xi_{qq}(r, z)$ в більш ранні космологічні епохи. Така синхронізація еволюції параметрів просторового розподілу квазарів є обмежувальною умовою. Якщо в майбутньому зі спостережень будуть підтвержені дані [10] про зменшення амплітуди $\xi_{qq}(r, z)$ з ростом z , то це вказуватиме на несумісність гіпотези про квазари з великими z як ранню короткочасну стадію розвитку масивних галактик та космологічних моделей формування великомасштабної структури Всесвіту з гауссівського поля флюктуацій густини речовини в плоских моделях без космологічної сталої. Це може також означати, що теоретична модель спостережуваного Всесвіту повинна включати космологічну сталу (див., наприклад, [26] і цитування в ній).

[1] M. Schmidt, D. P. Schneider, J. E. Gunn, in *The Spase Density of Quasars*, 1991, ed. D. Crampton (SF: ASP, 1991), p. 109.
 [2] Xiaohui Fan, Vijay K. Narayanan *et al.*, e-print astro-ph/0108063, v2, (2001).

[3] A. Iovino, P. Shaver, S. Cristiani, in *The Spase Distribution of Quasars*, 1991, edited by D. Crampton (ASP Conf. Ser., 21), p. 202.
 [4] H. J. Mo, L. Z. Fang, *Astrophys. J.* **410**, 2, 493 (1993).
 [5] B. V. Komberg, A. V. Kravtsov, V. N. Lukash, *Astron.*

- Astrophys. **286**, 2, 19 (1994).
- [6] P. Andreani, S. Cristiani, F. Lucchin, S. Matarrese, L. Moscardini, *Astrophys. J.* **430**, 2, 458 (1994).
- [7] B. V. Komberg, B. V. Kravtsov, *Astron. Astrophys. Trans.* **8**, 241 (1995).
- [8] P. Andreani, S. Cristiani, *Astrophys. J.* **398**, 13 (1992).
- [9] F. La Franca, P. Andreani, S. Cristiani, e-print astro-ph/9802281 (1998).
- [10] R. L. White, R. H. Becker, M. D. Gregg *et al.*, e-print astro-ph/9912215 (1999).
- [11] Б. В. Комберг, Р. А. Сюняев, *Астрон. журн.* **48**, 235, (1971).
- [12] Б. В. Комберг, *Астрон. журн.* **61**, 1048 (1984).
- [13] G. Efstathiou, M. Rees, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **230**, 3, 5 (1988).
- [14] A. Loeb, F. A. Rasio, *Astrophys. J.* **432**, 1, 52 (1994).
- [15] J. Stuart, B. Wyithe, A. Loeb, e-print astro-ph/020610 (2002).
- [16] M. Haehnelt, M. Rees, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **263**, 168 (1993).
- [17] W. H. Press, P. Schechter, *Astrophys. J.* **187**, 425 (1974).
- [18] A. Nusser, J. Silk, *Astrophys. J.* **411**, L1–L4 (1993).
- [19] Chornij Yu., Novosyadlyj B. *Astron. Astrophys. Trans.* **10**, 77 (1996).
- [20] Б. С. Новосядлий, Ю. Б. Чорний, *Кінем. фіз. небес. тіл* **12**, 2, 30 (1996).
- [21] B. Novosyadlyj, Yu. Chornij, *J. Phys. Stud.* **1**, 287 (1997).
- [22] B. Novosyadlyj, Yu. Chornij, *Kinematics Phys. Celest. Bodies* **14**, 2, 156 (1998).
- [23] B. Novosyadlyj, Yu. Chornij, *J. Phys. Stud.* **2**, 433 (1998).
- [24] Б. С. Новосядлий, Ю. Б. Чорний, *Астрон. журн.* **70**, 4, 563 (1993).
- [25] Б. С. Новосядлий, Ю. Б. Чорний, *Кінем. фіз. небес. тіл* **10**, 3, 84 (1994).
- [26] R. Durrer, B. Novosyadlyj, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **324**, 560 (2001).

SPATIAL DISTRIBUTION OF QUASARS IN COSMOLOGICAL MODELS

Yu. Chornij

*Ivan Franko National University of Lviv
8, Kyrylo i Mefodii Str., Lviv, 79005, Ukraine*

Observation data on the space distribution of quasars with large redshifts z are analysed in this work. It was shown that the assumption on such quasars as an early short-term stage of the evolution of massive galaxies can be compliable only with a simultaneous decrease in quasar concentration $n_q(z)$ and an increase in amplitude of their correlation function $\xi_{qq}(r, z)$ at earlier cosmological stages. A possible decrease in the amplitude $\xi_{qq}(r, z)$ with increasing z strengthens the inconformity of such a hypothesis on quasars with respect to cosmological models of the formation of a large-scale structure of the Universe from the Gaussian field matter density fluctuations.