

УДК 524.7-77(083.8):52-323.6

## АНИЗОТРОПИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ РАДИОИСТОЧНИКОВ. III

© 2026 В. Р. Амирханян<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup> Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук, Нижний Архыз, 369167 Россия  
Поступила в редакцию 27 ноября 2025 года; после доработки 30 января 2026 года; принята к публикации 3 февраля 2026 года

Неравновероятное распределение позиционных углов 3733 протяженных радиосточников из каталога F1912 в диапазоне красных смещений до 5.56 позволяет утверждать, что анизотропия пространственной ориентации объектов реальна и не локальна.

Ключевые слова: астрономические базы данных: каталоги — радиоизлучение с непрерывным спектром: галактики — космология: наблюдения

### ВВЕДЕНИЕ

Распределения позиционных углов внегалактических объектов как в оптическом, так и в радиодиапазоне уверенно не плоские. Данное утверждение зиждется на пионерских работах Brown (1938), Nilson (1973), Reinhardt (1971) и Lauberts (1982), благодаря которым были составлены каталоги спиральных галактик и изучена их ориентация. Вероятность, что распределения углов плоские, лежит в интервале  $p = 10^{-5} - 10^{-7}$ . Дальнейшие исследования (Mandzhos et al., 1987; Karachentsev et al., 1993; Parnovsky et al., 1994) подтвердили этот результат. Было убедительно показано, что большие оси спиральных галактик каталогов UGC, ESO и FGC ориентированы преимущественно в направлении «север–юг». А это означает, что их нормалью такая ориентация не свойственна. Nilson (1973), предположив возможную связь данного факта с систематической ошибкой, развернул Паломарские карты на  $90^\circ$  и повторил свои измерения. Результат не изменился.

Распределение позиционных углов протяженных радиосточников показывает близкие параметры: вероятность плоского распределения  $P \leq 10^{-7}$  (Amirkhanyan, 2009a). Карта распределения по небесной сфере неравномерностей гистограмм позиционных углов радиосточников (Amirkhanyan, 2009b) демонстрирует, что их оси избегают направления «север–юг». Такая же карта каталога FGC подтверждает, что нормали спиральных, видимых с ребра галактик также избегают это направление. Построить такую же карту эллиптических галактик, которые в большинстве случаев порождают протяженные

радиосточники, пока не удастся из-за больших ошибок в определении их ориентации.

Очевидно, что неравновероятное распределение наблюдаемых позиционных углов невозможно при изотропной пространственной ориентации объектов. Следующий естественный вопрос — является ли анизотропия локальной или это свойство всего наблюдаемого пространства. Чтобы ответить на него, необходимо изучить зависимость распределения ориентации внегалактических объектов от красного смещения. И здесь радиосточники имеют преимущество перед спиральными галактиками, так как каталоги, в которых массово представлены данные о морфологии галактик, ограничены расстояниями в 200–250 Мпк. Геометрические размеры протяженных радиосточников в большинстве случаев в десятки раз превосходят диаметр спиральных галактик и достигают нескольких мегапарсек. Современные радиотелескопы позволяют «видеть» и исследовать структуру таких объектов на расстояниях в тысячи мегапарсек.

### 1. ВЫБОРКА ОБЪЕКТОВ

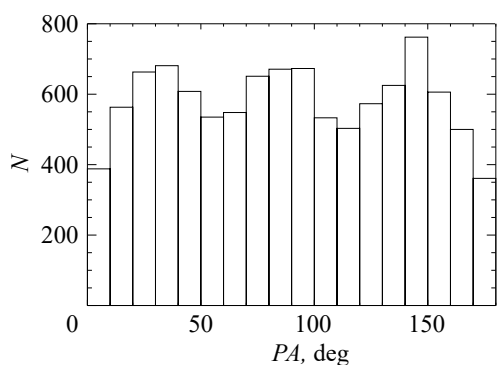
В нашей работе мы используем каталог протяженных радиосточников F1912 (Amirkhanyan, 2009a; 2014). Он собран на базе обзора FIRST<sup>1)</sup>, содержит протяженные радиосточники, состоящие не менее чем из трех компонентов. Потoki объектов каталога находятся в диапазоне 8 мЯн–15 Ян, угловые размеры от  $7''$  до  $350''$ . На момент создания каталог насчитывал 10 461 объект. Из них 1801 радиосточник удалось отождествить с оптическими объектами, у которых

\*E-mail: amir@sao.ru

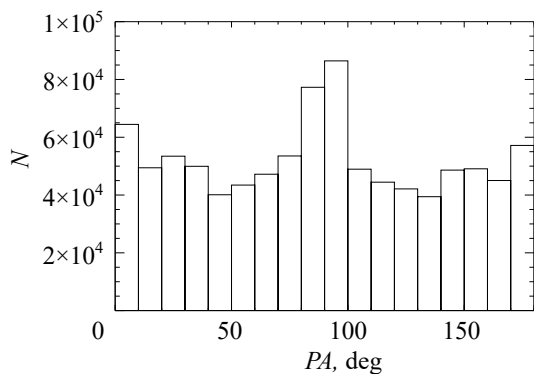
<sup>1)</sup><http://sundog.stsci.edu>

**Таблица 1.** Каталог протяженных радиоисточников. В колонках таблицы перечислены: (1) — прямое восхождение; (2) — склонение; (3) — позиционный угол оси; (4) — угловой размер; (5) — суммарный поток; (6) — поток центрального компонента; (7) — звездная величина оптического компонента в  $g$ -фильтре; (8) — спектральное красное смещение; (9) — число компонентов (с учетом оптического); (10) — класс оптического компонента. Приведен фрагмент таблицы; полная версия доступна в Дополнительных материалах

| RA (J2000)  | Dec (J2000) | $PA$ , deg | $\theta$ , arcsec | $S_{\text{tot}}$ , mJy | $S_c$ , mJy | $m_g$ , mag | $z$   | $N$ | Type |
|-------------|-------------|------------|-------------------|------------------------|-------------|-------------|-------|-----|------|
| (1)         | (2)         | (3)        | (4)               | (5)                    | (6)         | (7)         | (8)   | (9) | (10) |
| 00 01 21.55 | +01 01 49.0 | 135.7      | 24.2              | 16.1                   | 5.9         | 20.00       | 0.552 | 4   | GAL  |
| 00 01 21.47 | -01 27 17.5 | 157.7      | 25.0              | 12.7                   | 4.4         | 21.98       | 0.453 | 4   | GAL  |
| 00 02 42.32 | -00 13 19.8 | 122.4      | 35.6              | 28.4                   | 3.1         | 19.49       | 0.299 | 4   | GAL  |
| 00 03 50.66 | -10 41 55.6 | 65.4       | 28.3              | 11.2                   | 3.6         | 22.26       | 0.563 | 4   | GAL  |
| 00 04 42.19 | +00 00 23.3 | 115.8      | 43.0              | 11.8                   | 3.7         | 19.18       | 1.009 | 4   | QSO  |



**Рис. 1.** Распределение позиционных углов протяженных радиоисточников в каталоге F1912.



**Рис. 2.** Распределение позиционных углов 18576 радиоисточников FIRST с отношением осей более 0.9.

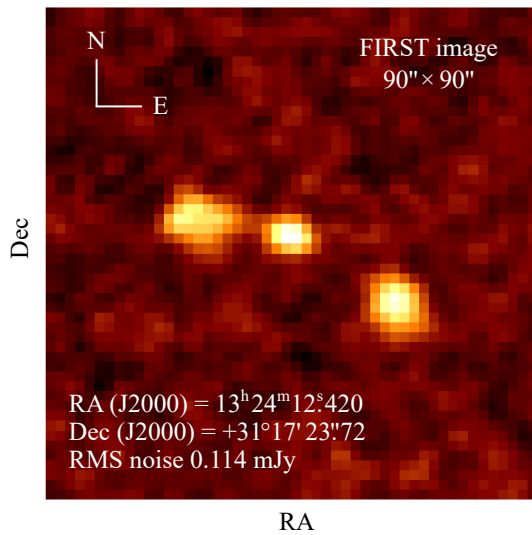
определено спектральное красное смещение. По прошествии 15 лет список отождествленных объектов был расширен до 3733 (см. Таблицу 1) в результате работы с базами данных NED и SDSS DR16. Этого числа объектов достаточно, чтобы оценить распределения позиционных углов протяженных радиоисточников в нескольких диапазонах красных смещений и проследить их изменения.

## 2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЗИЦИОННЫХ УГЛОВ

На рис. 1 показано распределение позиционных углов всех 10 446 объектов каталога F1912, которое практически повторяет распределение, представленное в работах Amirkhanyan (2009a; 2014).

Вероятность того, что оно плоское, не превышает  $10^{-7}$ .

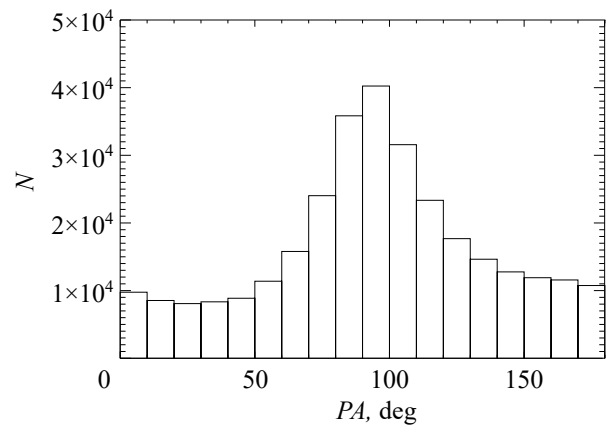
Здесь необходимо сделать длинное отступление от основной темы и обсудить, насколько гистограмма на рис. 1 реальна. В работах Battye et al. (2009) и Contigiani et al. (2015) приведены распределения позиционных углов радиоисточников FIRST, которые подобны представленному на рис. 1. Авторы этих статей допускают, что неравномерность гистограмм определяется конфигурацией VLA (Very Large Array) и обработкой изображения. Заметим, что в каталоге FIRST нет информации, является ли объект одиночным или компонентом протяженного радиоисточника. В первой работе использованы одиночные радиоисточники FIRST (14 302 объекта), отождествленные с галактиками SDSS. Однако распределение позиционных углов всех 946 432 радиоисточников последней версии FIRST (Helfand et al., 2015), без какого-либо отбора, демонстрирует иную картину: два максимума, на  $0^\circ$  и  $90^\circ$ . очевидно, имеют системный характер (рис. 2). Во второй работе использованы объекты RGZ-каталогов, 80% которых состоят из двух или более компонентов. Авторы, понимая, как нелегко объяснить неравномерность распределения позиционных углов многокомпонентных радиоисточников систематическими ошибками, делают осторожное предположение, что максимумы гистограммы на  $30^\circ$ ,  $90^\circ$  и  $150^\circ$  связаны со слабыми ложными объектами. Нетрудно проверить реальность компонентов протяженных радиоисточников, так как в каталоге FIRST указана вероятность, насколько они ложные. Ее величина,  $p = 0.014$ , присуща большинству объектов. Так как у нас нет каталога



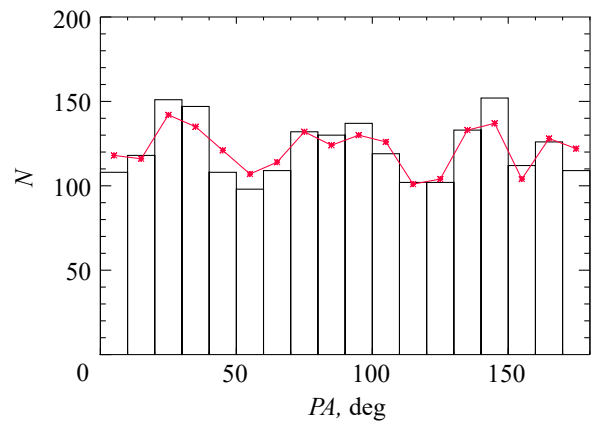
**Рис. 3.** Радиоисточник из F1912 на  $z = 0.427$ , все компоненты которого в каталоге FIRST имеют  $p = 0.162$ .

работы Contigiani et al. (2015), выполним такую проверку с объектами F1912. Напомним — в каталоге 10 446 радиоисточников, каждый из которых состоит не менее чем из трех компонентов. Для уровня вероятности  $p < 0.1$ , который использован в Contigiani et al. (2015), 33 049 компонентов из 34 923 удовлетворяют этому условию. Правда, не всегда значение  $p$ , приводимое в FIRST, можно принимать бесспорно. Пример — радиоисточник на  $z = 0.427$  (см. рис. 3). Для всех его трех компонентов вероятность, что они являются ложными, превышает 0.1, хотя реальность компонентов сомнения не вызывает. Трудно представить, чтобы проведение прямой через точки с координатами нескольких реальных компонентов протяженных радиоисточников могло сопровождаться систематическими ошибками. Автор готов согласиться, что такая ситуация возможна для одиночных объектов, у которых отношение малой к большой оси более 0.8. Таких объектов в FIRST 44 295. Распределение позиционных углов выборки имеет два узких максимума в точках 0 и 90 градусов. Число объектов в максимумах в четыре раза превосходит средний уровень. Результат этих систематических ошибок отчетливо проявился на рис. 2. Для радиоисточников с отношением осей меньше 0.4 ошибки в определении позиционных углов уменьшаются, а их распределение повторяет рис. 1.

Чтобы проверить реальность распределения позиционных углов радиоисточников F1912, необходимо сравнить его с распределением этих же объектов из другого обзора. Воспользуемся низкочастотным (центральная частота 144 МГц) обзором



**Рис. 4.** Распределение позиционных углов радиоисточников обзора LOFAR.



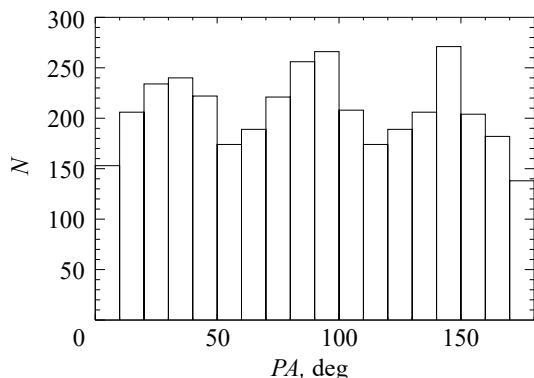
**Рис. 5.** Распределение позиционных углов радиоисточников, совпадающих в обзорах LOFAR и F1912: черный — по данным F1912; красный — по данным LOFAR.

LOFAR<sup>2)</sup> (Shimwell et al., 2022), который имеет координатную точность 0.2'' и разрешение, близкое к FIRST, — 6''. На рис. 4 показано распределение позиционных углов 3 477 145 радиоисточников из LOFAR. Из каталога исключены объекты, у которых равны нулю сразу три параметра: большая ось, малая ось и позиционный угол. Если нам удастся найти совпадающие объекты в списках LOFAR и F1912, то появится возможность сравнить распределения позиционных углов этих радиоисточников по данным двух обзоров. При радиусе совпадения 5'' было отождествлено 2194 радиоисточника. У подавляющего большинства из них в LOFAR структурный код равен трем, что соответствует многокомпонентному радиоисточнику.

Рисунок 5 показывает, что:

- распределения позиционных углов протяженных радиоисточников по данным двух обзоров близки;

<sup>2)</sup>Low Frequency ARray



**Рис. 6.** Распределение позиционных углов радиоисточников с известным спектральным красным смещением в каталоге F1912.

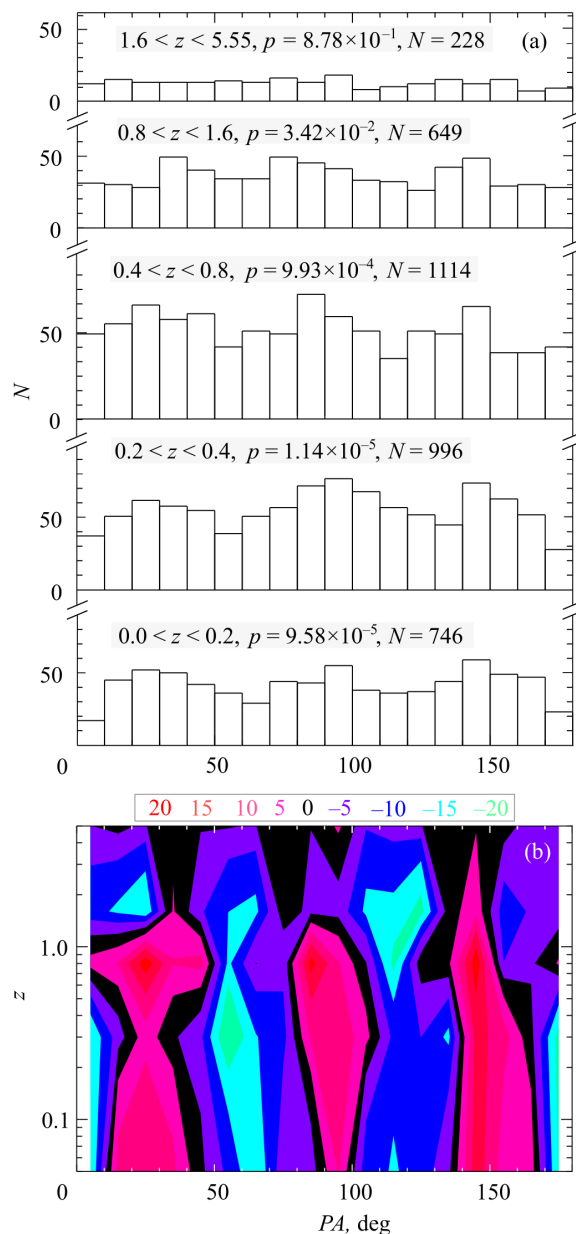
- протяженные объекты позволяют ослабить влияние систематики (рис. 2 и 4);
- распределения позиционных углов независимых выборок радиоисточников FIRST в работах Amirkhanyan (2009a), Contigiani et al. (2015) и, возможно, в Battye et al. (2009) отражают реальность.

### 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КАК ФУНКЦИЯ $z$

Вернемся к основному вопросу. На рис. 6 представлено распределение позиционных углов осей 3733 радиоисточников с известным спектральным красным смещением из F1912. Объекты находятся в диапазоне  $z = 0.002-5.546$ . Разобьем этот диапазон на пять интервалов, в каждом из них построим распределения позиционных углов (см. рис. 7), определим  $\chi^2$  гистограммы, число входящих в них объектов и вероятность, что распределения «плоские». На рис. 7а видно, что распределения в диапазоне  $z = 0-1.6$  неравновероятные, а их отклонения от «плоского» подобны. Рисунок 7б демонстрирует зависимость плотности объектов с различными позиционными углами вдоль красного смещения; справа приведена таблица цветов, соответствующих условной плотности объектов.

Чтобы проверить визуальную информацию, необходимо извлечь неплоскую составляющую гистограмм и оценить ее параметры. Построим оптимальный фильтр для поиска сигнала известной формы, который повторяет рис. 6. Таким фильтром является свертка или кросс-корреляция (Shestov, 1967) между распределениями рис. 7 и 6 (опорное). Свертка вычислялась по всей длине опорного массива, для чего распределение «замыкалось» в кольцо в точке  $0^\circ-180^\circ$  (см. рис. 8).

На рис. 8 для каждого диапазона  $z$  приведены максимальные значение кросс-корреляции и ее ошибка. Смещение между коррелирующими распределениями  $0^\circ-10^\circ$  для всех диапазонов  $z$ . Искомый сигнал, соответствующий представленному



**Рис. 7.** Панель (а) — распределение позиционных углов радиоисточников в пяти диапазонах красных смещений. Для каждого распределения показан диапазон  $z$ , вероятность, что распределение плоское, и число радиоисточников в диапазоне. Панель (б) — плотность объектов показана цветом.

на рис. 6, отчетливо виден на всех диапазонах, включая самый дальний.

Неизбежный вопрос — насколько реален выделенный сигнал? Заменим в каталоге F1912 позиционные углы на случайные, распределенные равномерно в диапазоне  $0^\circ-180^\circ$ , и повторим вычисления. Для чистоты эксперимента в качестве опорного используем то же распределение, что и ранее (рис. 6). На рис. 9 и 10 представлены

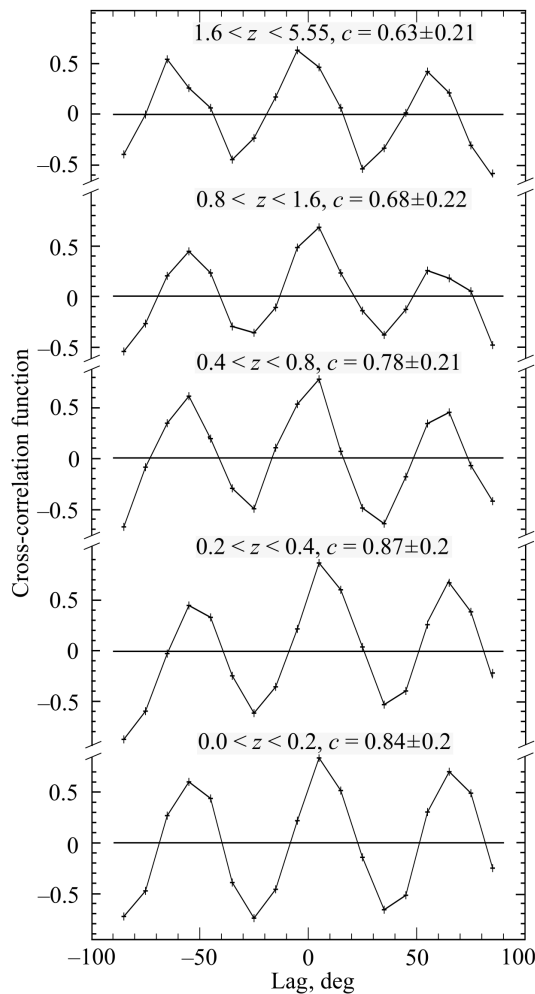


Рис. 8. Кросс-корреляционные функции опорного распределения позиционных углов радиоисточников с распределениями в пяти диапазонах красных смещений.

распределения случайных позиционных углов и их свертка с опорным распределением.

Сравнение графиков на рис. 8 и 10 показывает отсутствие сигнала в последнем. Многократное повторение численного эксперимента с различными выборками случайных позиционных углов этот результат подтверждает.

#### 4. ВЫВОД

Неравномерность и характер распределений позиционных углов протяженных радиоисточников сохраняются до больших красных смещений и поэтому не могут быть локальными. Породить «неплоское» распределение в состоянии только неравновероятная пространственная ориентация радиоисточников. Следовательно, пространство анизотропно по крайней мере до  $z \approx 3$ , хотя оно может при этом оставаться однородным.

Анизотропия может определяться межгалактическим магнитным полем (Hoyle, 1958; Zel'dovich,

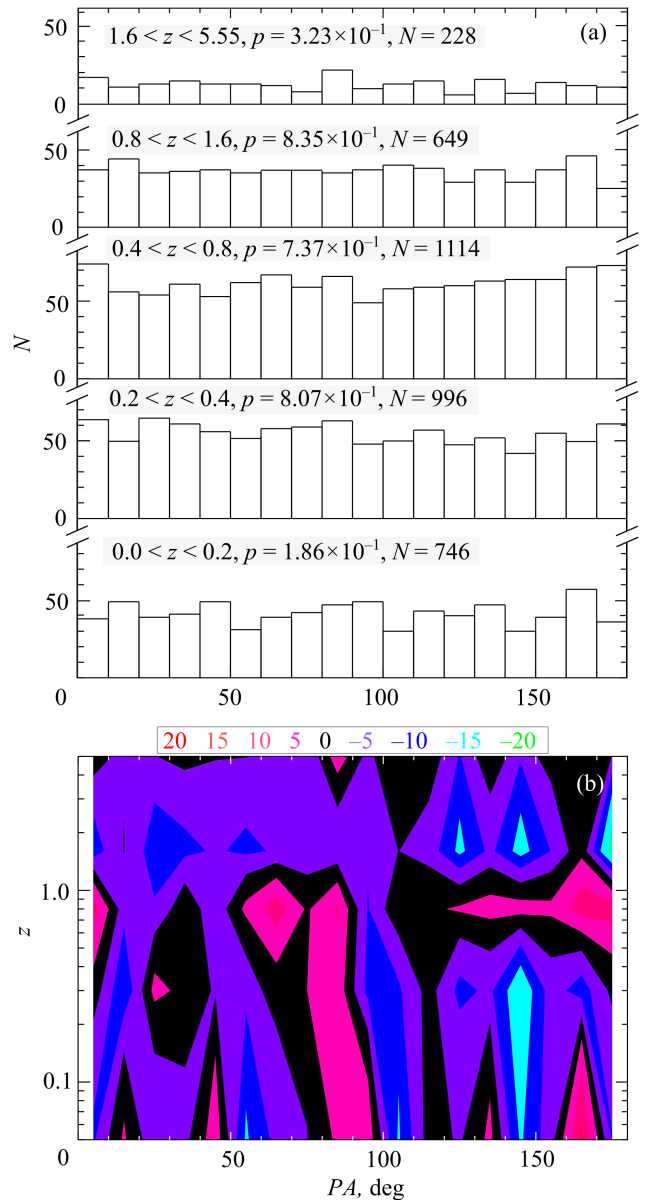


Рис. 9. То же, что на рис. 7, но для случайных позиционных углов.

1965). Reinhardt (1971) связал первичное магнитное поле с пространственной ориентацией галактик.

Также возможно, что анизотропия связана с вращением Вселенной (Gödel, 1949). В конце статьи автор делает интересное замечание: «... an explanation would have to be found for the apparent irregularity of the distribution of the axes of rotation of the galaxies»<sup>3)</sup>. Но он допускал, что «исходный порядок» может быть размыт.

Быстро растущий объем наблюдательных данных позволяет видеть то, что ранее тонуло под

<sup>3)</sup>... «должно быть найдено объяснение очевидной неравномерности распределения осей вращения галактик.»

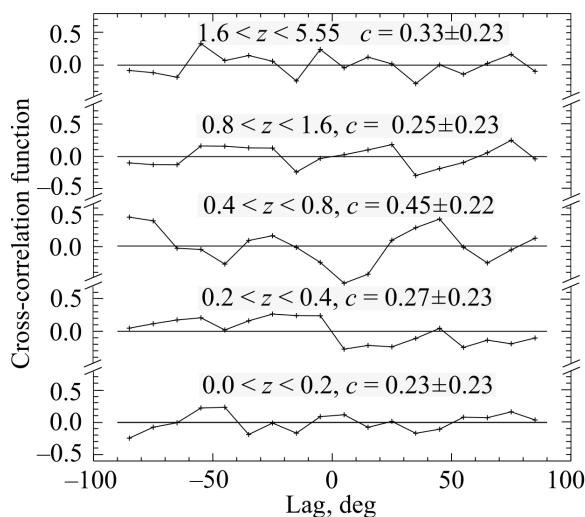


Рис. 10. Кросс-корреляционные функции опорного распределения позиционных углов радиосточников с распределениями случайных позиционных углов.

ошибками и шумами. Неоднородность и анизотропия пространства начинают проявляться все активнее (Strukov et al., 1992; Longo et al., 2011; Zhao, 2016; Migkas et al., 2020; Secrest et al., 2021). Возможно, после первого и второго нас ожидает третье приближение модели пространства (Gorkavyi et al., 2021).

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Дополнительные материалы, представленные онлайн, включают полную версию таблицы 1.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

В работе использованы данные каталогов FIRST (<https://sundog.stsci.edu/first/catalogs>), LOFAR (<https://cdsarc.cds.unistra.fr/viz-bin/cat/J/A+A/659/A1>), базы данных NED (<https://ned.ipac.caltech.edu>) и SDSS DR16 (<https://test.preprod.skyserver.sdss.org/dr16/en/tools/chart/navi.aspx>).

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания САО РАН, утвержденного Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. R. Amirkhanyan, *Astrophysical Bulletin* **64** (4), 325 (2009a). DOI:10.1134/S1990341309040026
2. V. R. Amirkhanyan, *Astrophysical Bulletin* **64** (4), 333 (2009b). DOI:10.1134/S1990341309040038
3. V. R. Amirkhanyan, *VizieR Online Data Catalog: Catalog of Extended Extragalactic Radio Sources* (2014).
4. R. A. Battye and I. W. A. Browne, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **399**, 1888 (2009). DOI:10.1111/j.1365-2966.2009.15429.x
5. F. G. Brown, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **99**, 14 (1938). DOI:10.1093/mnras/99.1.14
6. F. G. Brown, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **127**, 517 (1964). DOI:10.1093/mnras/127.6.517
7. O. Contigiani, F. de Gasperin, G. K. Miley, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **472**, 636 (2017). DOI:10.1093/mnras/stx1977
8. K. Gödel, *Reviews of Modern Physics* **21** (3), 447 (1949). DOI:10.1103/RevModPhys.21.447
9. N. N. Gorkavyi and S. A. Tyul'bashev, *Astrophysical Bulletin* **76**, 229 (2021). DOI:10.1134/S199034132103007X
10. D. J. Helfand, R. L. White, R. H. Becker, *Astrophys. J.* **801** (1), article id. 17 (2015). DOI:10.1088/0004-637X/801/1/26
11. F. Hoyle, in *Proc. of 11th Conf. on the Physics Council of the Intern. Solvay Institute of Physics Series on Structure and Evolution of the Universe, Brussels, 1958*, Ed. by R. Stoops (Brussels, Belgium, 1958) p. 66.
12. I. D. Karachentsev, V. E. Karachentseva, and S. L. Parnovskij, *Astronomische Nachrichten* **314** (3), 97 (1993). DOI:10.1002/asna.2113140302
13. A. Lauberts, *ESO/Uppsala survey of the ESO(B) atlas* (European Southern Observatory, Garching, 1982).
14. M. J. Longo, *Physics Letters B* **699**, 244 (2011). DOI:10.1016/j.physletb.2011.04.008
15. A. V. Mandzhos, A. Ya. Gregul, I. Yu. Izotova, and V. V. Tel'nyuk-Adamchuk, *Astrophysics* **26** (2), 196 (1987). DOI:10.1007/BF01005559
16. K. Migkas, G. Schellenberger, T. H. Reiprich, et al., *Astron. and Astrophys.* **636**, id. 15 (2020). DOI:10.1051/0004-6361/201936602
17. P. Nilson, *Uppsala General Catalogue of Galaxies* (Astronomiska Observatorium, Uppsala, 1973). Online at <https://ned.ipac.caltech.edu/level1/March02/Nilson/frames.html>
18. S. L. Parnovsky, I. D. Karachentsev, and V. E. Karachentseva, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **268**, 665 (1994). DOI:10.1093/mnras/268.3.665
19. M. Reinhardt, *Astrophys. and Space Sci.* **10**, 363 (1971). DOI:10.1007/BF00649681
20. N. J. Secrest et al., *Astrophys. J.*, **908** (2), id. 51 (2021). DOI:10.3847/2041-8213/abdd40

21. N. S. Shestov, *Separation of Optical Signals from a Background of Random Interference* (Soviet Radio, Moscow, 1967) [in Russian].
22. T. W. Shimwell, M. J. Hardcastle, C. Tasse et al., *Astron. and Astrophys.* **659**, id. A1 (2022). DOI:10.1051/0004-6361/202142484
23. I. A. Strukov, A. A. Brukhanov, D. P. Skulachev, and M. V. Sazhin, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **258**, 37P (1992). DOI:10.1093/mnras/258.1.37P
24. Y. B. Zel'dovich, *Soviet Journal of Experimental and Theoretical Physics* **21**, 656 (1965).
25. W. Zhao and L. Santos, arXiv e-prints astro/ph:1604.05484 (2016). DOI:10.48550/arXiv.1604.05484

## Anisotropy of the Space Orientation of Radio Sources. III

V. R. Amirkhanyan

<sup>1</sup>Special Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences, Nizhnii Arkhyz, 369167 Russia

The unequal distribution of the position angles of 3733 extended radio sources from the F1912 catalog in the range of redshifts up to 5.56 suggests that the anisotropy of the spatial orientation of objects is real and not local.

Keywords: *astronomical databases: catalogs; continuous radio emission: galaxies; cosmology: observations*