

## АНІЗОТРОПІЯ ОРІЄНТАЦІЇ ГАЛАКТИК КАТАЛОГУ 2MFGC

С. Л. Парновський<sup>1</sup>, А. В. Тугай<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НДЛ “Астрономічна обсерваторія” кафедри астрономії та фізики космосу  
фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка

<sup>2</sup>Кафедра астрономії та фізики космосу фізичного факультету  
Київського національного університету імені Тараса Шевченка

(Отримано 18 грудня 2006 р.)

Проаналізовано анізотропію в орієнтаціях галактик каталогу 2MFGC. Установлено, що для деяких вибірок, обмежених за розмірами кронівського радіуса, наявна статистично значуща анізотропія. Аналіз за методом Монте-Карло показав, що ймовірність того, що знайдена анізотропія є випадковою, не перевищує 3%.

**Ключові слова:** галактики, каталоги, великомасштабна структура.

PACS number(s): 98.65.–r

### I. ВСТУП

Дослідження анізотропії в орієнтаціях галактик мають тривалу історію, починаючи з робіт Аббе 1875 р. Їх розвиток та результати, отримані до 1994 р., викладено у праці [1]. Сучасніші результати описані у статті [2]. Протягом тривалого часу вивчення анізотропії орієнтації галактик зводилися до статистичного аналізу розподілу їхніх позиційних кутів. Як правило, напрямком максимуму або мінімуму цього розподілу збігався з небесним меридіаном. Складалося враження, що напрямком анізотропії збігається з напрямком осі Землі, що ставило під сумнів реальність існування анізотропії. Справді, у вимірюванні позиційних кутів та розмірів галактик можливі похибки або несвідомо селекція даних. Але у праці [1] показано, що при довільному напрямку реальної анізотропії (надлишок або нестача в розподілі орієнтацій осей галактик) екстремуми в розподілі за позиційними кутами мають припадати на кути  $0^\circ$  та  $90^\circ$ .

Там же запропоновано новий підхід до пошуку можливої анізотропії та введено функцію положення на небесній сфері  $F$ , яка у квадрупольному наближенні дорівнює надлишкові (у відсотках) у розподілі густини ймовірності орієнтації осей галактики. Функція  $F$  симетрична щодо початку координат, а її розподіл по небу має парні екстремуми в протилежних напрямках. Її застосування показало, що галактики каталогів FGC [3], UGC [4] та ESO [5] мають схожі статистично значущі анізотропії в їх орієнтаціях. На думку Фліна, ці напрямки пов'язані з орієнтацією Місцевого Надскупчення [6]. Пізніше запропонований метод використовували для дослідження орієнтацій подвійних галактик [7]. Несподіванкою виявилась анізотропія в орієнтаціях не лише фізичних, але й оптичних пар. Її причину спочатку шукали в ефектах ЗТВ [8], але потім її було пов'язано з неоднорідностями розподілу галактик по небу [7].

У нашій статті метод, запропонований у [1], застосо-

вано для дослідження анізотропії орієнтацій галактик каталогу 2MFGC [9], який містить дані про 18020 галактик з відношенням інфрачервоних розмірів у системі 2MASS більше 3. Для кожної галактики в каталозі наведено екваторіяльні координати, зоряні величини в інфрачервоних фотометричних смугах J, H і K, кронівський радіус у кутових секундах, відношення розмірів і позиційний кут, округлений до найближчого значення, кратного  $5^\circ$ . Ми проаналізували анізотропію орієнтації галактик 2MFGC методом, викладеним в [1].

### II. ДОСЛІДЖЕННЯ АНІЗОТРОПІЇ ОРІЄНТАЦІЇ ГАЛАКТИК 2MFGC

Для різних підвибірок 2MFGC ми побудували розподіли функції  $F$  по небу й визначили для кожного розподілу максимальне і мінімальне значення  $F_{\max}$  і  $F_{\min}$ . Зауважимо, що точність обчислення  $F$  характеризується середньоквадратичним відхиленням  $\sigma$ , яке залежить від кількості галактик у вибірці. Ми шукали підвибірки 2MFGC, у яких  $F_{\max}/\sigma > 3$  або  $F_{\min}/\sigma < -3$  серед підвибірок каталогу, що обмежені різними граничними значеннями інфрачервоних зоряних величин, відношення осей і кронівського радіуса. Найчіткіше виражену анізотропію ми виявили серед підвибірок, обмежених мінімальним значенням кронівського радіуса  $r_{\min}$ . Значення  $F_{\max}$  і  $F_{\min}$  для вибірок, обмежених різними значеннями  $r_{\min}$  (вираженими в кутових секундах), відображені на рис. 1,а. В [1] виявлено анізотропію орієнтації оптичного каталогу плоских галактик FGC. Значна частина галактик цього каталогу ввійшла до 2MFGC, тому ми розглянули також підвибірки 2MFGC, з якого були виключені галактики FGC і його оновленої версії RFGC [10] і залишились тільки галактики, орієнтації яких не досліджували раніше. Екстремальні значення  $F$  для таких підвибірок відображені на рис. 1,б.

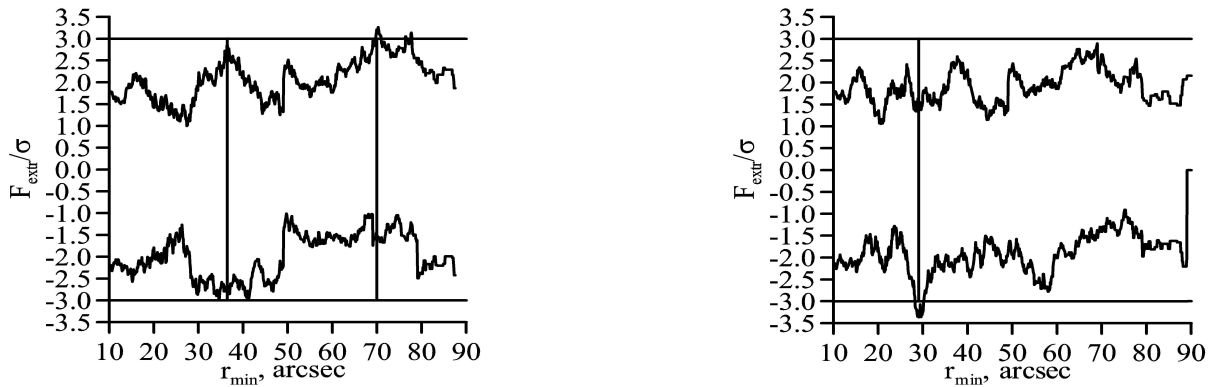


Рис. 1. Екстремальні значення анізотропії орієнтації галактик підвбірок 2MFGC, що обмежені мінімальним кронівським радіусом  $r_{\min}$ . Значення анізотропії виражені в одиницях середньоквадратичного відхилення  $\sigma$ . Значення  $r_{\min}$  подані в кутових секундах. Зліва — дані для підвбірок повного каталогу 2MFGC, справа — дані для підвбірок 2MFGC, з якого попередньо вилучені галактики RFGC. Вертикальними лініями позначені підвбірки з найбільш вираженою анізотропією.

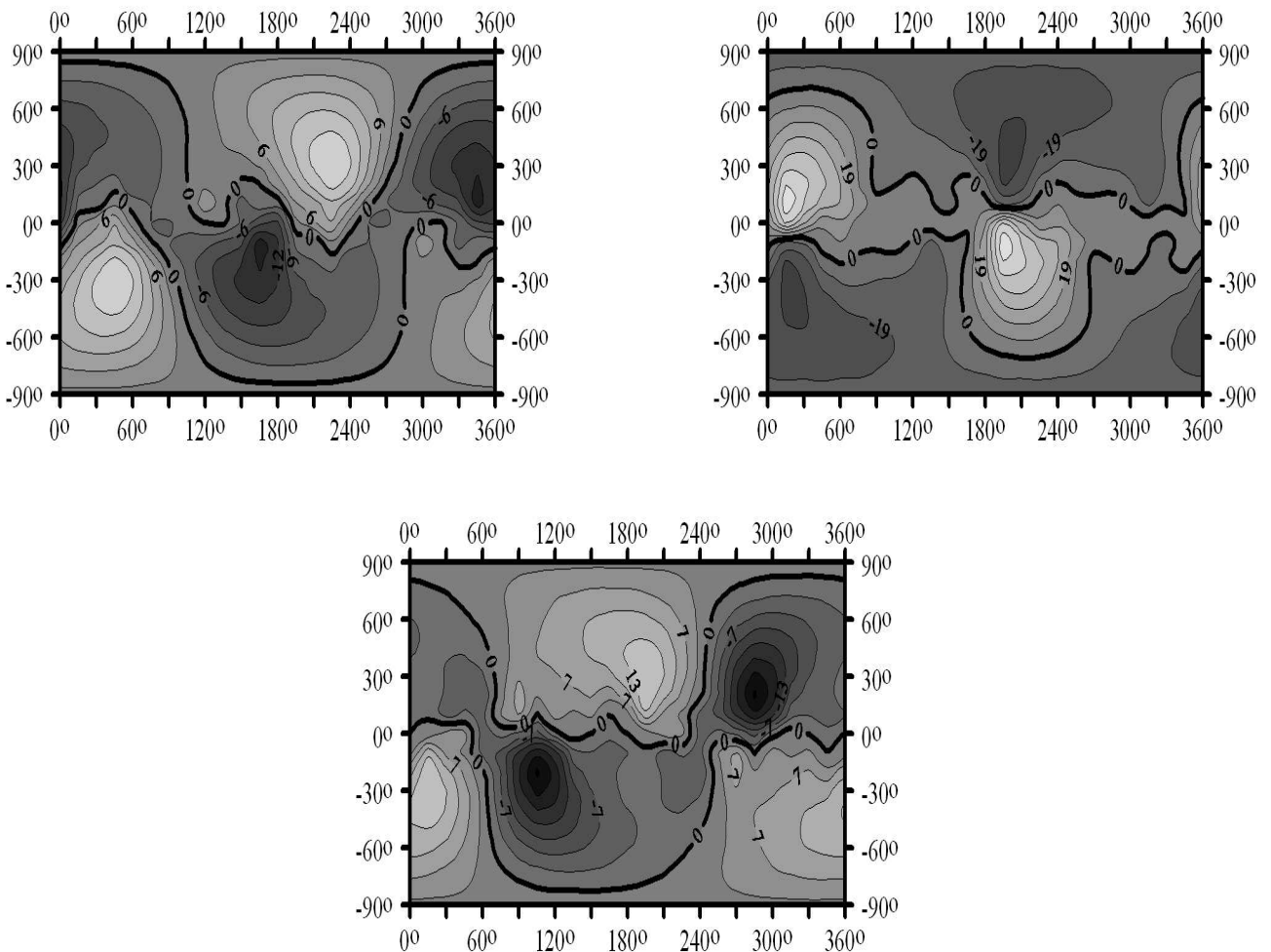


Рис. 2. Розподіл по небу (в екваторіяльних координатах) анізотропії орієнтації галактик трьох вибраних підвбірок 2MFGC. Ізолінії анізотропії проведено з інтервалом  $0.5 \sigma$ . На ізолініях, що відповідають значенням функції анізотропії  $F$ , кратним  $\sigma$ , відкладено значенні  $F$  у відсотках. а) Підвбірка галактик 2MFGC, обмежених значенням  $r_{\min} = 36.5''$ ; б) Підвбірка галактик 2MFGC, обмежених значенням  $r_{\min} = 70''$ ; в) Підвбірка галактик 2MFGC, з якої виключені галактики RFGC і FGC,  $r_{\min} = 29.1''$ .

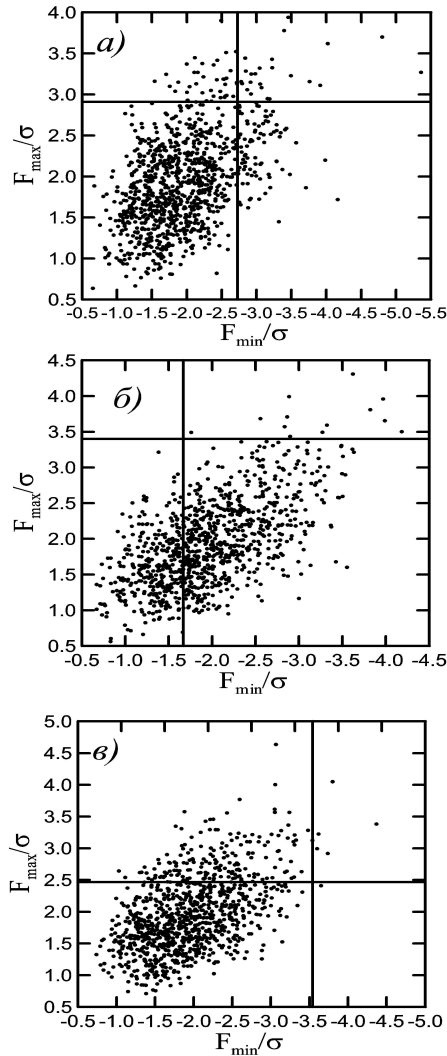


Рис. 3. Екстремальні значення функції анізотропії (виражені в одиницях  $\sigma$ ) для штучних вибірок галактик, положення яких відповідають положенням галактик трьох вибраних підвибірок 2MFGC. По осі абсцис відкладені мінімальні значення, а по осі ординат — максимальні. Вертикальні й горизонтальні лінії позначають, відповідно, мінімальні й максимальні значення анізотропії реальних підвибірок 2MFGC. а) Підвибірка галактик 2MFGC, обмежених значенням  $r_{\min} = 36.5''$ ; б) підвибірка галактик 2MFGC, обмежених значенням  $r_{\min} = 70''$ ; в) підвибірка галактик 2MFGC, із якої виключені галактики RFGC і FGC,  $r_{\min} = 29.1''$ .

Серед підвибірок 2MFGC із найбільш вираженою анізотропією ми вибрали дві підвибірки з галактиками RFGC/FGC і одну — без них. Значення  $r_{\min}$  для цих підвибірок позначені на рис. 1 вертикальними лініями і дорівнюють  $36.5''$ ,  $70''$  і  $29.1''$  відповідно. Розподіли по небу функції  $F$  для трьох вибраних підвибірок зображені на рис. 2. Розподіли для першої і третьої підвибірки (рис. 2,а і 2,в) подібні, що свідчить про наявність анізотропії орієнтацій галактик 2MFGC незалежно від включення до розгляду даних оптичних каталогів. На рис. 2,а і 2,б ділянки підвищених і понижених значень  $F$  розташовані протилежно, наприклад, у напрямку з координатами  $\alpha = 210^\circ$ ,  $\delta = 30^\circ$

(сузір'я Гончих Псів) функція  $F$  має максимум для вибірки з меншими галактиками (рис. 2,а) і мінімум для вибірки з більшими галактиками (рис. 2,б). Ділянки максимуму й мінімуму  $F$  міняються місцями при  $r_{\min} = 50''$ , на рис. 1,а при такому значенні екстремуми анізотропії найменш виражені. Відзначимо, що положення мінімуму для третьої підвибірки збігається з віссю супергалактичної системи координат, а максимуми другої та третьої підвибірок є близькими до супергалактичного екватора. Тому анізотропія може бути пов'язана з орієнтацією Місцевого Надскупчення. Однак супергалактичні широти для максимуму та мінімуму функції  $F$  для першої підвибірки дорівнюють  $30^\circ$ , а супергалактична широта для мінімуму другої підвибірки —  $22^\circ$ . Це не дуже відповідає орієнтації Місцевого Надскупчення. Крім того, суттєва відмінність в анізотропії орієнтацій галактик із великими та малими кутовими розмірами, що є близькою до протилежної, вимагає припустити також і можливість селекції при визначенні інфрачервоних розмірів галактик каталогу 2MFGC залежно від їхніх позиційних кутів, що найбільше проявляється при розмірах близько  $50''$ .

Ми отримали дві підвибірки 2MFGC, для яких  $F_{\max} > 2.9\sigma$ , і одну, для якої  $F_{\min} < -3.5\sigma$ . Методом моделювання Монте-Карло ми визначили ймовірність того, що така анізотропія може бути випадковою. Для кожної з трьох вибраних підвибірок ми побудували по 1000 штучних, положення галактик у яких відповідають положенням галактик 2MFGC, а позиційні кути є випадковими, й обчислили для них величини максимуму та мінімуму функції  $F$ . Результати моделювання зображено на рис. 3. Ми визначили відсоток штучних підвибірок, у яких  $F_{\max}$  більше від відповідного значення для реальної підвибірки 2MFGC, а  $F_{\min}$  — менше. Позначимо через  $N_1$  кількість вибірок, у яких значення  $F_{\min}$  менше, ніж у реальної вибірки,  $N_2$  — кількість вибірок, у яких значення  $F_m$  більше, ніж у реальної вибірки, і  $N_3$  — кількість вибірок, для яких виконуються обидві умови. Вибірка з  $r_{\min} = 36.5''$  містить 2304 галактики і характеризується значеннями  $N_1 = 112$ ,  $N_2 = 63$ ,  $N_3 = 24$  (див. рис. 3,а). До другої вибірки входить 221 галактика з  $r_{\min} = 70''$ ; моделювання дало для неї  $N_1 = 656$ ,  $N_2 = N_3 = 13$ . Вибірка без галактик RFGC і FGC з  $r_{\min} = 29.1''$  містить 1890 галактик і характеризується значеннями  $N_1 = 112$ ,  $N_2 = 63$ ,  $N_3 = 24$ . Отже, доля штучних підвибірок з анізотропією орієнтації більшою, ніж у реальних, лежить у межах 1–3%, отже, ймовірність того, що виявлена анізотропія орієнтації є випадковою, мала.

### III. ВИСНОВОК

Ми виявили статистично значущу анізотропію орієнтації галактик 2MFGC, яка може бути зумовлена як спільним походженням галактик Місцевого Надскупчення, так і ефектами селекції.

Автори вдячні С. М. Мітроновій за каталог 2MFGC, надісланий в електронній формі.

- [1] S. L. Parnovsky, I. D. Karachentsev, V. E. Karachentseva, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **268**, 665 (1994).  
 [2] F. X. Hu, G. X. Wu, G. X. Song, Q. R. Yuan, S. Okamura, *Astrophys. Space Sci.* **302**, 43 (2006).  
 [3] I. D. Karachentsev, V. E. Karachentseva, S. L. Parnovsky, *Astron. Nachr.* **314**, 97 (1993).  
 [4] P. Nilson, *Uppsala Astr. Obs. Ann.* **6**, (1973).  
 [5] A. Lauberts, *The ESO/Uppsala Survey of the ESO(B) Atlas* (ESO, Munich, 1982).  
 [6] P. Flin, *Comments Astrophys.* **18**, 81 (1995).  
 [7] С. Л. Парновский, Ю. Н. Кудря, И. Д. Караченцев, *Письма астрон. журн.* **23**, 586 (1997).  
 [8] С. Л. Парновский, Ю. Н. Кудря, А. Н. Александров, *Журн. эксп. теор. физ.* **106**, 1559 (1994).  
 [9] S. N. Mitronova, I. D. Karachentsev, V. E. Karachentseva, T. H. Jarrett, Yu. N. Kudrya, *Bull. SAO* **57**, 5 (2003).  
 [10] I. D. Karachentsev, V. E. Karachentseva, Yu. N. Kudrya, M. E. Sharina, S. L. Parnovsky, *Bull. SAO* **47**, 5 (1999).

### ORIENTATION ANISOTROPY OF 2MFGC GALAXIES

S. L. Parnovsky<sup>1</sup>, A. V. Tugay<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Astronomical Observatory, Astronomy and Space Physics Department,  
Physics Faculty, Taras Shevchenko National University of Kyiv*

<sup>2</sup>*Astronomy and Space Physics Department, Physics Faculty, Taras Shevchenko Kyiv National  
e-mail: par@observ.univ.kiev.ua, tugay@univ.kiev.ua*

We analyzed the anisotropy in orientation of 2MFGC galaxies. Some 2MFGC sub-samples constrained by Kron radius have a statistically significant anisotropy. Using the Monte-Carlo analysis we show that the probability of such an anisotropy being incidental is less than 3%.